

# Département de Physique Département de Physique



Université Ibn Tofail Faculté des Sciences Kenitra  
جامعة ابن طفيل كلية العلوم القنيطرة

UNIVERSITE IBN TOFAIL  
FACULTE DES SCIENCES  
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

MÉMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES  
FILIÈRE : SMP

---

---

la détection nucléaire

---

Réalisé par :

Badra **Hreich**  
Wassima **Bakouh**  
Soumiya **Bouras**

Encadré par :

Pr. Abdelmajid.**CHOUKRI**

*Soutenu le 22/06/2015 devant le Jury :*

Pr. Oum Keltoum HAKAM

*Présidente*

Pr. Abdelmajid CHOUKRI

*Encadrant*

Pr. Mohammed EL MEGHRAOUI

*Examineur*

Année Universitaire : 2014 – 2015

# sommaire

|                                                                                    |           |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>DÉDICACES</b>                                                                   | <b>3</b>  |
| <b>Remerciements</b>                                                               | <b>4</b>  |
| <b>Résumé</b>                                                                      | <b>5</b>  |
| <b>Abstrat</b>                                                                     | <b>6</b>  |
| <b>Introduction</b>                                                                | <b>7</b>  |
| <b>1 Les rayonnements</b>                                                          | <b>8</b>  |
| 1.1 Définition . . . . .                                                           | 8         |
| 1.2 Les types de rayonnements . . . . .                                            | 8         |
| 1.2.1 Les rayonnements "alpha" : . . . . .                                         | 8         |
| 1.2.2 Les rayonnements " bêta" : . . . . .                                         | 8         |
| 1.2.3 Les rayonnements électromagnétiques . . . . .                                | 10        |
| 1.3 Les caractéristiques des rayonnements : . . . . .                              | 12        |
| 1.4 la pénétration des rayonnements dans la matière . . . . .                      | 12        |
| <b>2 Interactions rayonnements-matières</b>                                        | <b>13</b> |
| 2.1 Les particules chargées : . . . . .                                            | 13        |
| 2.1.1 Interaction des particules chargées lourdes : . . . . .                      | 13        |
| 2.1.2 Interaction des particules chargées légères : . . . . .                      | 14        |
| 2.2 Les interactions des photons . . . . .                                         | 15        |
| 2.2.1 L'effet Compton : . . . . .                                                  | 15        |
| 2.2.2 L'effet photoélectrique . . . . .                                            | 17        |
| 2.2.3 Effet de production de paires . . . . .                                      | 18        |
| 2.3 les interaction des neutrons . . . . .                                         | 18        |
| <b>3 Les détecteurs nucléaires</b>                                                 | <b>20</b> |
| 3.1 Les types de détecteurs . . . . .                                              | 20        |
| 3.1.1 Détecteurs à gaz . . . . .                                                   | 20        |
| 3.1.2 Détecteurs à semi-conducteur : . . . . .                                     | 20        |
| 3.1.3 Détecteurs à scintillation . . . . .                                         | 21        |
| 3.2 Le fonctionnement des principaux détecteurs : . . . . .                        | 22        |
| 3.2.1 Détecteurs à gaz : . . . . .                                                 | 22        |
| 3.2.2 Détecteurs à semi-conducteur . . . . .                                       | 23        |
| 3.2.3 Détecteurs à scintillation : . . . . .                                       | 23        |
| 3.3 La description de la chaine électronique associée à chaque détecteur . . . . . | 24        |
| <b>Conclusion</b>                                                                  | <b>26</b> |
| <b>Bibliographie</b>                                                               | <b>27</b> |

# DÉDICACES

## A nos très chers parents

Dont leurs mérites, leurs sacrifices, leurs qualités humaines m'ont permis de vivre ce jour.

Les mots me manquent pour exprimer toute la reconnaissance, la fierté et le profond amour que nous leurs portons pour les sacrifices qu'ils ont consenti pour notre réussite, qu'ils trouvent ici le témoignage de notre attachement, notre reconnaissance, gratitude et respect.

A notre mère, et notre père, que Dieu les préserve. Nous lui souhaitons bonne santé et longue vie.

## *A nos frères & soeurs*

Nous espérons atteindre le seuil de vos espérances. Que ce travail soit l'expression de notre profonde affection. Nous vous remercions pour le soutien moral et l'encouragement que vous nous avez accordés. Nous vous souhaitons tout le bonheur que vous méritez

## *A nos ami(e)s.*

A tous ceux qui ont su nous apporter aide et soutien aux moments propices, nous dédions ce travail, reconnaissant et remerciant chaleureusement. A tous ceux qui vivent à petite ou à grande échelle pour un monde.

## *plus juste et humain*

Nous vous dédie ce travail de recherche.

# Remerciements

Au terme de ce travail, Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères :

Nous aimerons tout d'abord remercier Monsieur le professeur **Abdelmajid CHOUKRI** qui par sa disponibilité, ses encouragements et ces conseils a permis ce travail d'aboutir, nous avoir mis à disposition le temps nécessaire pour sa réalisation . Ses conseils lors de la préparation, pour l'accueil et l'encadrement au sein du laboratoire, Son ouverture d'esprit son engagement et son soutien ainsi que pour la pertinence de ses remarques.

Nous tenons aussi à remercier vivement les jurys Madame le professeur **Oum Keltoum HAKAM** et Monsieur le professeur **Mohammed ELMEGHRAOUI** qui ont pris de leur temps pour assister et juger ce travail.

Nos remerciements vont à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

# Résumé

L'émission des rayonnements est toujours associée à la radioactivité. Aucun de sens dont dispose l'être humain ne peut détecter les rayonnements émis par les substances radioactives. On peut détecter ces rayonnements donc déceler la radioactivité qu'en utilisant deux des types d'interaction entre rayonnements ionisants et la matière.

L'ionisation et l'excitation.

On a traité la détection et la mesure des rayonnements nucléaires, On a fait un rappel sur les différents types de rayonnements et les interactions rayonnements-matière, puis on a présenté les principes physiques de fonctionnements des principaux détecteurs dédiés et leurs chaînes électroniques.

exosup.com

# Abstract

The issuance of radiation is always associated with radioactivity. No sense available to human can detect radiation emitted by radioactive substances.

We can detect these radiations therefore detect radioactivity that by using two types of interaction between radiation and matter.

the ionization and excitation. were treated the detection and measurement of nuclear radiation, It was a reminder of the different types of radiation and radiation-matter interactions, then presented the physical principles of functioning of the main detectors dedicated and electronic channels

# Introduction

Les émissions de rayonnements caractéristiques, spontanés ou provoqués permettent la détection et la caractérisation d'un matériau dit radioactif. Avec le développement de l'industrie nucléaire, ainsi que celui des procédures de contrôle, de surveillance et de suivi des matières et installations, on commence à utiliser à grande échelle les méthodes de détection et de mesure de rayonnements nucléaires. Au fil des années, ces méthodes ne vont cessées d'être améliorées et adaptées.

Aujourd'hui, la science de l'instrumentation et de la mesure nucléaire est une branche à part entière du paysage scientifique, technique et technologique. Dans cet exposé, traitant de la détection et de la mesure de rayonnements nucléaires, thématique pluridisciplinaire, nous présentons les principes physiques de fonctionnement, les performances, les limitations et les domaines d'utilisation des principaux détecteurs dédiés que sont notamment les détecteurs à remplissage gazeux, les scintillateurs et les semi-conducteurs.

Un rappel des mécanismes d'interaction des différents types de rayonnements avec la matière et de leurs principes physiques de base est donné préalablement. Des éléments fondamentaux et indispensables de statistiques appliquées à la mesure de rayonnements sont présentés. Des notions essentielles sur l'interaction rayonnement-matière sont aussi exposées. Y figurent ensuite des exemples d'application et d'utilisation des détecteurs de rayonnements pour les besoins de méthodes de mesure nucléaire ou encore de contrôle-commande de réacteurs nucléaires de puissance de type REP.

# Chapitre 1

## Les rayonnements

### 1.1 Définition

La radioactivité est un phénomène naturel qui naît au coeur de l'atome, il y a des milliards d'années, au commencement de l'univers. Toute chose qui nous entoure est radioactive dans une certaine mesure et émet donc des rayonnements. L'air, les plantes, l'eau, les roches, les matériaux de construction,... contiennent des substances radioactives. L'homme est aussi exposé en permanence aux rayonnements ionisants. Ils sont générés depuis le centre de la terre, la croûte terrestre, l'atmosphère dans laquelle nous vivons et l'univers qui nous entoure. C'est ce que nous appelons la radioactivité naturelle. Cette radioactivité fait partie de la vie et a toujours existé. Elle est aussi générée artificiellement par l'homme. Ainsi, des rayonnements radioactifs, les 'radioéléments', sont générés lors de la production d'électricité par l'énergie nucléaire et pour toutes sortes d'autres applications de la radioactivité, par exemple pour la détection et la guérison de maladies, l'extermination d'insectes fléaux, la conservation des aliments, la datation d'œuvres d'art et de découvertes archéologiques, etc

La radioactivité est associée au noyau de l'atome. En règle générale, un noyau est stable, il reste lui-même. Toutefois, le noyau de certains atomes a tendance à subir spontanément des changements. C'est le cas lorsque l'équilibre entre les particules qu'il contient est perturbé. On dit alors que le noyau est instable. Le noyau instable recherche spontanément un nouvel état d'équilibre. Ce faisant, il émet de l'énergie excédentaire sous la forme de rayonnements ionisants, qui se présentent sous la forme de particules ou d'ondes. Ce phénomène est appelé la radioactivité.

### 1.2 Les types de rayonnements

Donnés d'un surplus d'énergie, les atomes radioactifs se désintègrent naturellement en émettant des rayonnements invisibles qui diffèrent par leur nature et leur pouvoir de pénétration dans l'air ou la matière. Il existe principalement trois types de rayonnements ionisants de nature et d'intensité différente : alpha, bêta et gamma.

**Lois de conservation** : lors d'une réaction nucléaire, il y a conservation du nombre de nucléons  $A$  et du nombre de charges  $Z$ . Par contre, il n'y a pas conservation des éléments chimiques.

-Les rayonnements alpha, bêta plus et bêta moins (particules émises par des atomes radioactifs à partir de leur désintégration).

#### 1.2.1 Les rayonnements "alpha" :

Le rayonnement alpha est émis par les atomes possédant trop de protons ou de neutrons. Il correspond à l'émission d'un noyau d'atome d'hélium, composé de deux protons et de deux neutrons : la particule alpha. Sa portée dans l'air est de quelques centimètres seulement. Il peut être arrêté par une simple feuille de papier.

Les lois de conservations donnent :



Exemple : Désintégration alpha de l'uranium 238 en thorium :



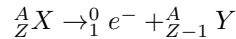
#### 1.2.2 Les rayonnements " bêta" :

Constitués par un flux d'électrons, sont arrêtés par une feuille d'aluminium.

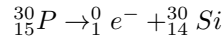
## i. Bêta plus

La radioactivité  $\beta^+$  est une réaction spontanée au cours de laquelle un noyau père instable se désintègre en un noyau fils plus stable avec émission d'un positron  ${}^0_1e^+$  appelé "particule  $\beta^+$ ". Cette radioactivité est qualifiée de radioactivité artificielle car elle se produit avec des noyaux obtenus en laboratoire. Elle est caractéristique des noyaux contenant trop de protons.

Les lois de conservations donnent :



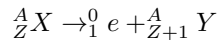
Exemple : Désintégration du phosphore :



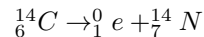
## ii. Bêta moins

La radioactivité  $\beta^-$  est une réaction spontanée au cours de laquelle un noyau père instable se désintègre en un noyau fils plus stable avec émission d'un électron  ${}^0_{-1}e$  appelé "particule  $\beta^-$ ". Ce type de radioactivité se produit pour les noyaux trop riches en neutrons.

Les lois de conservations donnent :

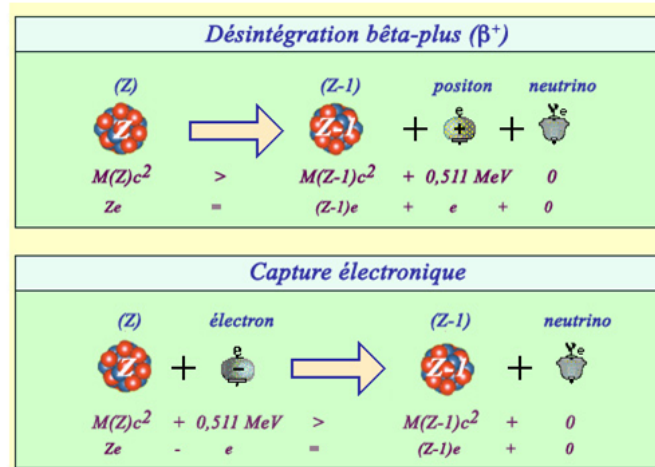


Exemple : Désintégration du carbone 14 :



## iii- La capture électronique

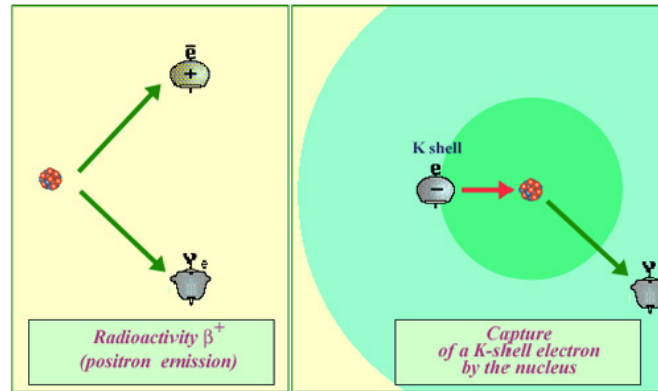
La capture électronique est un mode de radioactivité mineur dû à l'interaction faible. L'exemple le plus connu est le potassium -40 : 11% des noyaux de cet isotope instable du potassium présent dans le corps humain se désintègrent par capture électronique.



Emission d'un positon contre capture d'un électron L'émission d'un positon et la capture d'un électron sont deux réactions jumelles qui diminuent toutes deux le nombre de protons du noyau d'une unité, de  $Z$  à  $Z - 1$ , et produisent un neutrino dans l'état final. Le positon observé dans l'état final de la désintégration bêta, apparaît dans la capture électronique sous forme d'un électron dans l'état initial. Lors du bilan énergétique, l'énergie de masse du positon et de l'électron interviennent pour  $0,511 \text{ MeV}$ . Ces 511000 électronvolts sont comptabilisés dans l'état final dans un cas et dans l'état initial dans l'autre. La comparaison montre que la capture économise  $1,022 \text{ MeV}$  d'énergie par rapport à la désintégration bêta.

La capture d'un électron a le même effet que l'émission d'un positon : transformer un des protons du noyau en neutron et diminuer sa charge électrique d'une unité. La Nature utilise ce moyen, avec la désintégration bêta-plus, pour corriger la composition d'un noyau trop riche en protons. La désintégration bêta-moins n'est pas concurrencée par la capture de positons.

La capture s'avère difficile ; Les électrons circulent relativement loin du noyau sauf ceux de la couche la plus interne alors que les forces faibles responsables de la capture sont à très courte portée.



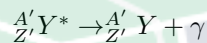
La capture peut également laisser le noyau dans un état excité. Elle est alors suivie par l'émission d'un rayon gamma de désexcitation.

Ce mode de radioactivité est en conséquence difficile à détecter. La capture électronique a été découverte en 1937 par le physicien américain Luis Alvarez (1911-1988), 40 ans après la radioactivité bêta-moins et quelques années après la radioactivité bêta-plus.

### 1.2.3 Les rayonnements électromagnétiques

Le rayonnement gamma est émis par les atomes possédant un trop plein d'énergie. Il s'agit d'une onde électromagnétique de même nature que la lumière ou les rayons X, mais beaucoup plus énergétique. Le rayonnement gamma est bien plus pénétrant que les autres types de rayonnements. En fonction de son énergie, il peut parcourir plusieurs centaines de mètres dans l'air. Une forte épaisseur de plomb ou de béton est nécessaire pour les arrêter.

Les lois de conservations donnent :



**Exemple :**

Le cobalt 60 se transforme en nickel 60 "excité", qui lui-même retrouve sa stabilité en émettant des rayonnements  $\gamma$ .

-la différence entre les Rayonnements X et  $\gamma$  :

i- Rayons X : origine électronique

- ◇ Rayonnement de freinage (rayons X continus).
- ◇ Transitions entre les couches électroniques (retour à l'état fondamental).

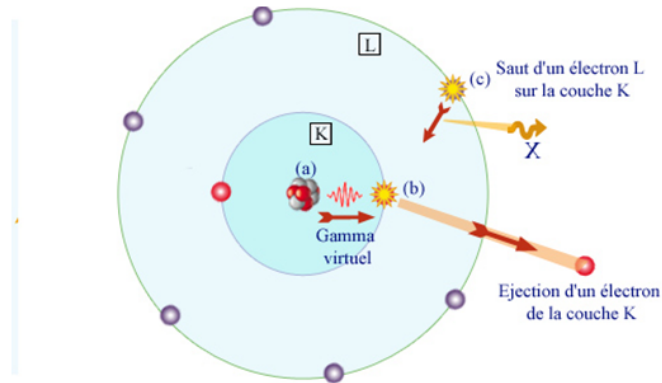
ii- Rayons  $\gamma$  : origine nucléaire :

- ◇ Transitions nucléaires (radioactivité).
- ◇ Photons d'annihilation (combinaison positon avec électron).

- Rx et R $\gamma$  : même comportement vis à vis de la matière.
- Quelque soit l'origine :  $E = h\nu = (hc)/\lambda$ .

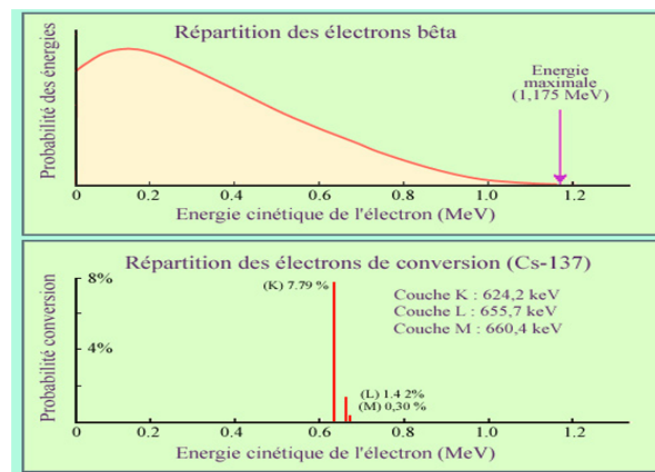
iii- Conversion Interne

La conversion interne est un mode de désexcitation d'un noyau qui concurrence l'émission d'un gamma. Elle survient après une désintégration radioactive, bêta ou alpha qui a laissé le noyau dans un état excité. La conversion interne est une émission de gamma dont le gamma disparaît car il interagit avec un des électrons qui circule autour du noyau et auquel il transfère son énergie. Elle est aussi appelée pour cette raison conversion électronique.



*Schéma d'une conversion interne : Un noyau excité émet un rayon gamma (a). Ce gamma interagit avec un des électrons les plus internes de l'atome (b, ici avec un électron de la couche K. L'électron est éjecté de l'atome. Le gamma est absorbé et disparaît. L'éjection de l'électron cause un vide sur la couche interne. L'atome se réorganise : un électron plus externe, ici appartenant à la couche L) vient occuper la place de l'électron éjecté (c). Un rayon X est émis.*

o L'électron éjecté hérite donc de l'énergie du gamma, mais il doit s'arracher aux forces qui le lient à l'atome. Une fois sorti de celui-ci son énergie est diminuée de son énergie de liaison. L'énergie transférée à l'électron est celle du gamma diminuée de l'énergie de liaison de l'électron caractéristique de couche atomique. Aussi bien l'énergie du gamma que l'énergie de liaison possède des valeurs bien définies. De ce fait l'énergie de l'électron éjecté prendra une série de valeurs caractéristiques (une pour chaque couche). La probabilité d'éjecter un électron est la plus importante avec la couche K la plus interne et diminue rapidement avec les couches plus externes. Les électrons de conversion se caractérisent par des énergies uniques, par opposition avec les électrons de la radioactivité bêta dont l'énergie se situe entre 0 et une valeur maximale, une partie de l'énergie disponible étant emportée par des neutrinos invisibles. L'éjection d'un électron est suivie par une réorganisation de l'atome, avec émission de rayons X.



o Electrons de conversion et électrons bêta : L'exemple choisi est celui du césium-137, un important émetteur beta. Dans 85,1 % des désintégrations l'électron bêta est accompagné par un gamma de 661,57 keV et dans 9,6 % des cas par un électron de conversion. Alors que la répartition en énergie des rayons bêta est continue, les électrons de conversion possèdent une énergie unique dépendant de la couche atomique dont ils sont issus. Les conversions les plus fréquentes se produisent dans la couche K. Dans le cas du césium-137, les électrons de conversion emportent en moyenne 5% de l'énergie des désintégrations.

### 1.3 Les caractéristiques des rayonnements :

Les rayons alpha, bêta et gamma sont les rayons ionisants les plus connus. Les propriétés des divers types de rayons sont très différentes. Les particules alpha sont relativement lourdes et fortement ionisantes. Les particules bêta sont plus légères et transmettent moins d'énergie lors de leurs collisions. Les rayons gamma sont des ondes électromagnétiques. Ils sont les moins ionisants mais pénètrent le plus profondément dans la matière.

Les rayonnements issus de la radioactivité ne sont pas perceptibles par nos sens. Ils sont à la fois invisibles, insensibles et inodores aussi les rayonnements sont caractérisés par :

- Le taux de radiations d'une substance radioactive : il est diminué avec le temps car les atomes qui se désintègrent se transforment en atomes stables (non radioactifs). Cependant, la radioactivité met un temps plus ou moins long à disparaître selon les atomes concernés et ce délai dépasse parfois la durée d'une existence humaine.
- La période radioactive ou demi-vie : c'est le temps que met une substance radioactive pour perdre la moitié de sa radioactivité (cela signifie que la moitié des atomes de la substance se sont désintégrés et sont devenus stables).

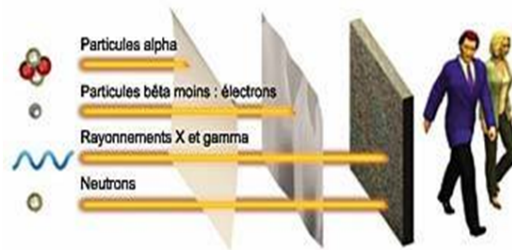
### 1.4 la pénétration des rayonnements dans la matière

Par leur énergie, les rayonnements ionisants sont pénétrants, c'est-à-dire qu'ils peuvent traverser la matière. Cependant, le pouvoir de pénétration est différent pour chacun d'entre eux, ce qui définit des épaisseurs différentes de matériaux pour se protéger.

Mentionnons que les positons (rayonnements bêta plus) sont pratiquement absorbés sur place : un positon s'annihile avec le premier électron rencontré sur son passage en formant deux photons gamma, ce qui ramène le problème au cas du rayonnement gamma (voir schéma ci-dessous).

⊗ pouvoir de pénétration des rayonnements ionisants :

- Particules alpha : Pénétration très faible dans l'air. Une simple feuille de papier est suffisante pour arrêter les noyaux d'hélium.
- particules bêta moins : électrons. Pénétration faible. Parcourent quelques mètres dans l'air. Une feuille d'aluminium de quelques millimètres peut arrêter les électrons.
- Rayonnements X et gamma : Pénétration très grande, fonction de l'énergie du rayonnement : plusieurs centaines de mètres dans l'air. Une forte épaisseur de béton ou de plomb permet de s'en protéger.
- Neutrons : Pénétration dépendante de leur énergie une forte épaisseur de béton, d'eau ou de paraffine arrête les neutrons.



**N.B :**

—Lorsqu'un rayonnement pénètre la matière, il interagit avec elle et lui transfère de l'énergie. La dose absorbée par la matière caractérise ce transfert d'énergie.

—L'unité de dose absorbée par la matière est le gray (Gy) qui est équivalent à un joule absorbé par kilogramme de matière.

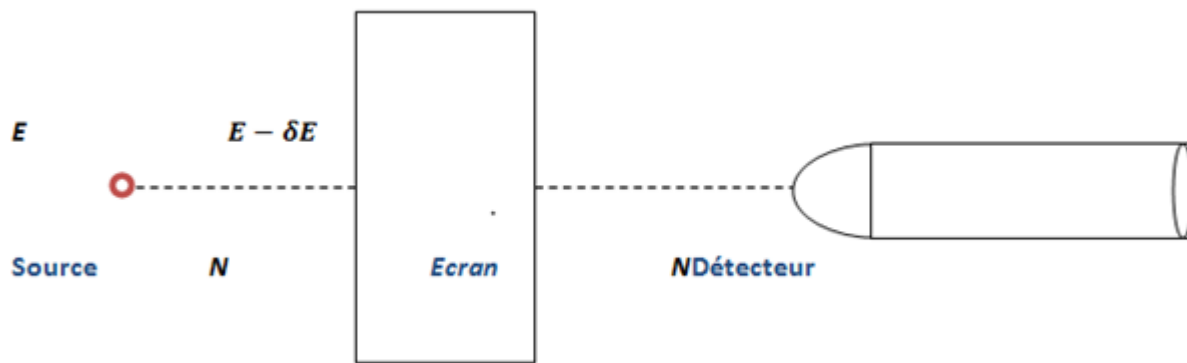
## Chapitre 2

# Interactions rayonnements-matières

### 2.1 Les particules chargées :

#### 2.1.1 Interaction des particules chargées lourdes :

Une particule atomique en pénétrant un milieu matériel ne conserve pas son énergie cinétique, elle perd au cours d'interaction avec les atomes de la matière traversé, par contre le nombre des particules chargées avant et après traverse du milieu reste le même.



On peut distinguer deux types de diffusion :

Si la diffusion est élastique le nombre des particules incidentes est inchangé et l'énergie cinétique conserve. L'énergie conserve par ce que la cible reste dans son état fondamental.

La réaction nucléaire est :  $a + A \rightarrow a + A$

$a$  : le projectile.

$A$  : la cible.

Si la diffusion est inélastique les masses sont identiques avant et après le choc, l'énergie cinétique totale n'est pas conservée, car la cible va se trouver dans un état d'excitation.

La réaction nucléaire est :  $a + A \rightarrow a + A^*$

#### 1- Interaction avec les noyaux des atomes du milieu traversé

Les particules chargées peuvent interagir avec les noyaux des atomes cibles, mais lorsque le rayon de l'atome est plus grand que celui du noyau, la probabilité de l'interaction de l'électron avec l'atome reste beaucoup probable.

#### 2- Interaction avec les électrons des atomes du milieu traversé

Il existe deux processus possibles :

Soit une transition vers un état non lié (éjection) c'est :

- L'ionisation :

Si l'énergie transférée par l'électron incident est plus supérieure à l'énergie de liaison de l'atome cible, elle est suffisante à arracher un électron.

Soit une transition vers un état lié c'est :

- L'excitation :

Si l'énergie est insuffisante pour ioniser, mais capable de déplacer un électron vers un état situé à niveau d'énergie plus élevé.

### 3- Mesure du ralentissement des particules chargées

Le milieu traversé est caractérisé par le pouvoir d'arrêt ou de ralentissement :

$$S = \frac{dE}{dX} \text{ en [J.m-1] ou [MeV.cm-1]}$$

### 4- Transfert linéique d'énergie (TLE)

$$TLE = \text{en Mev/cm}$$

Pour des particules chargées non relativistes ( $V \ll C$ ) le TLE donné par la formule de Bethe :

$$\left| \frac{-dE}{dx} \right| = \frac{(z^2 e^4)}{(4\pi\epsilon_0^2 m_0 V^2)} N \cdot Z \ln \frac{(2m_0 V^2)}{I}$$

Avec :

- $z$  la charge de la particule incidente.
- $V$  la vitesse de la particule incidente.
- $m_0$  la masse de l'é.
- $e$  la charge d'é.
- $N$  le nombre d'atomes par unité de volume du milieu de numéro atomique  $Z$ .
- $I$  la valeur moyenne du potentiel d'ionisation des atomes ralentisseurs. [ $I \approx 13 \cdot Z$  eV].

Quand la vitesse  $V$  du projectile est faible et le  $Z$  du milieu est grand TLE augmente.

### 5- Densité linéique d'ionisation

Elle s'appelle aussi ionisation spécifique ( $I_s$ ).

D'après :

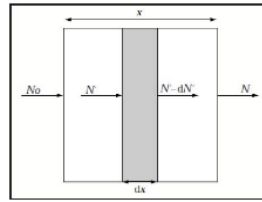
$$TLE = \left| \frac{-dE}{dx} \right| = I_s \cdot \omega$$

Où  $I_s$  est l'ionisation spécifique, c'est-à-dire le nombre d'ionisations qu'induit le passage de la particule incidente par unité de parcours.  $\omega$  est l'énergie moyenne d'ionisation (c'est l'énergie nécessaire moyenne pour créer une paire d'ions).

## 2.1.2 Interaction des particules chargées légères :

Les particules chargées légères désignent les électrons et les positrons. Les électrons peuvent avoir une origine atomique ou nucléaire i.e. provenant du cortège électronique des atomes du milieu ou suite à la désintégration radioactive de noyaux (radioactivité  $\beta^+, \beta^-$ ) respectivement.

--Le parcours de particules  $\beta^-$



Soit  $N_0$  le nombre total non absorbé traverse un matériau, il interagit d'une manière aléatoire, avec les atomes de ce matériau.  $X_{(1/2)}$  c'est l'épaisseur qui correspond à l'absorption de la moitié du faisceau de particules  $\beta^-$ .

L'absorption des particules  $\beta^-$  donnée par la loi :

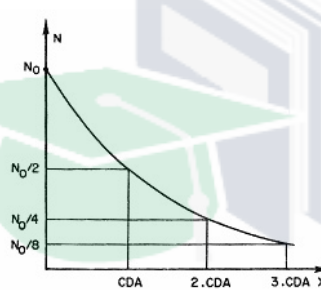
$$N(x) = N_0 e^{(-\mu x)}$$

$N_0$  :Le nombre total.

$\mu$  :Coefficient d'atténuation linéique.

$x$  : l'épaisseur de l'écran d'absorption.

$$\text{CDA} = \frac{\ln 2}{\mu}$$



## 2.2 Les interactions des photons

### 2.2.1 L'effet Compton :

Au cours de la collision, l'électron est projeté dans une certaine direction (faisant un angle  $\phi$  avec la direction du photon incident d'énergie  $E_\gamma = h\nu$ ) emportant avec lui une certaine énergie cinétique  $T$  et impulsion  $p$  tandis que le photon diffusé par le choc continue sa trajectoire avec l'énergie restante  $E'_\gamma = h\nu'$  (faisant avec l'axe  $X$  un angle  $\Theta$ )

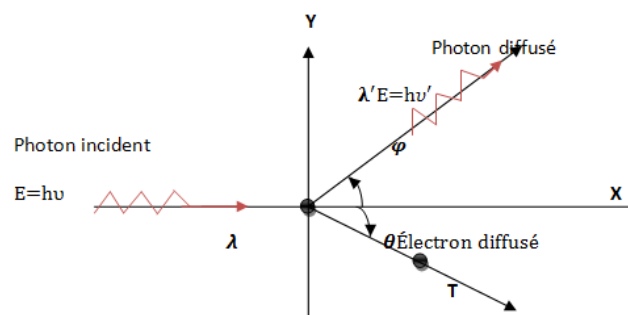
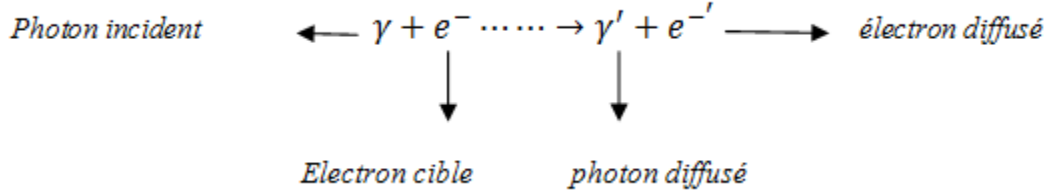


Schéma montrant la collision d'un photon sur un électron au repos.

L'angle de diffusion du photon est  $\Theta$ , et celui de l'électron  $\phi$

## Energétique de l'effet Compton

Quelque soit la source de rayonnement X (origine électronique) ou bien gamma (origine nucléaire)  $R_X$  et  $R_\gamma$  : même comportement vis à vis de la matière, l'énergie reste la même pour les deux rayonnements :  $E_\gamma = h\nu = hc/\nu$ . La collision de rayonnement gamma avec l'électron cible :



Conservation d'énergie :

$$h\nu + m_0c^2 = h\nu' + m_0c^2 + T$$

$$\Rightarrow h\nu = h\nu' + T$$

L'impulsion totale :

$$\vec{P}_{ph} = \vec{P}_e + \vec{P}'_{ph} \quad (2.1)$$

Conservation de l'impulsion :

$$\vec{p} = \frac{h\nu}{c} \vec{e}_x \vec{p}' = \frac{h\nu'}{c} \vec{e}_\Theta \quad (2.2)$$

$$\frac{h\nu}{c} \vec{e}_x = m\nu \vec{e}_\phi + \frac{h\nu'}{c} \vec{e}_\Theta \quad (2.3)$$

La projection sur  $\vec{e}_x$  :  $h\nu/c = m\nu \cos\phi + \frac{h\nu'}{c} \cos\Theta$

La projection sur  $\vec{e}_y$  :  $0 = m\nu \sin\phi - \frac{h\nu'}{c} \sin\Theta$

$$\begin{cases} h\nu/c = m\nu \cos\phi + \frac{h\nu'}{c} \cos\Theta \\ 0 = m\nu \sin\phi - \frac{h\nu'}{c} \sin\Theta \end{cases}$$

En considérant les relations relativistes entre l'impulsion et l'énergie :

- $E_\gamma^2 = m^2c^4 + p^2c^2$

Avec  $m$  :  $\begin{cases} m = m_0/\sqrt{1-\beta^2} = m_0\gamma \Rightarrow \gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2} \\ \beta = v/c \end{cases}$

- $p = \frac{1}{c}[T(T + 2m_0c^2)]^{(1/2)}$

$$\Rightarrow E_\gamma = mc^2 = m_0c^2 + T \Rightarrow T = (m - m_0)c^2 \Rightarrow T = m_0(\gamma - 1)c^2$$

$$(pc)^2 = T(T + 2m_0c^2) = T^2 + 2Tm_0c^2 = m_0^2c^4(\gamma - 1)^2 + 2m_0^2c^4(\gamma - 1) = m_0^2c^4(\gamma^2 - 1)$$

$$\text{d'où } pc = m_0c^2\sqrt{\gamma^2 - 1}$$

Les relations de conservation d'énergie s'écrivent :

$$\begin{cases} h\nu = m_0c^2(\gamma^2 - 1)\cos\phi + h\nu'\cos\Theta \\ 0 = m_0c^2(\gamma^2 - 1)\sin\phi - h\nu'\sin\Theta \end{cases}$$

Le photon incident possède une énergie :  $E$ , alors l'énergie de ce photon après diffusion sur un électron de la matière aura l'énergie :  $\alpha = E_\gamma/(m_0c^2)$

$$E'_\gamma = E_\gamma/(1 + \alpha(1 - \cos\Theta))$$

• L'énergie perdue par le photon est entièrement distribuée à l'électron sur lequel la diffusion s'est faite, l'électron acquiert ainsi l'énergie cinétique  $T = E_\gamma - E'_\gamma = E_\gamma(1 - \frac{1}{(1+\alpha(1-\cos\Theta))})$   
 Un faisceau de photons de même énergie donne des électrons Compton, dont l'énergie cinétique varie entre :

$$\begin{cases} T_{e^-} = 0 (\text{à } \Theta = 0) \\ T_{max} = \frac{2\alpha}{(1+2\alpha)} E_\gamma (\text{à } \Theta = \Pi) \end{cases}$$

### Section efficace de l'effet Compton

La probabilité de l'effet Compton est proportionnelle à  $Z$  et inversement proportionnelle à l'énergie  $E_\gamma$  du photon incident :

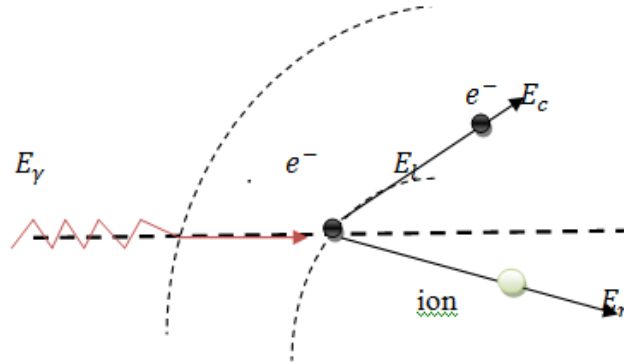
$$c \propto Z/E_\gamma$$

### 2.2.2 L'effet photoélectrique

C'est l'interaction du photon incident sur un électron lié d'un atome cible, le photon communique toute son énergie, il est totalement absorbé.

Cette énergie contribue à :

- $E_l$  : énergie de liaison de l'électron sur sa couche.
- $E_c$  : énergie cinétique de l'électron éjecté.



La conservation d'énergie totale s'écrit :  $h\nu = E_r + E_c + E_l$

Or  $E_r$  est faible presque égale quelque  $10eV$ .

L'énergie de l'électron émis :  $E_c = h\nu - E_l$

Pour que l'énergie d'électron soit positive, l'énergie  $E_\gamma$  doit être supérieure ou égale à  $E_l$  ; il ya donc un seuil d'énergie pour l'effet photoélectrique.

On remarque que l'effet photoélectrique ne peut pas se produire par interaction d'un électron libre, car dans ce cas il est impossible de satisfaire à la fois la conservation d'énergie et celle de quantité de mouvement.

#### @@@ Section efficace de l'effet photoélectrique

- L'effet photoélectrique est plus probable sur les électrons les plus fortement liés.
- La probabilité d'émission photoélectrique augmente quand  $E_\gamma$  tend vers  $E_l$ .

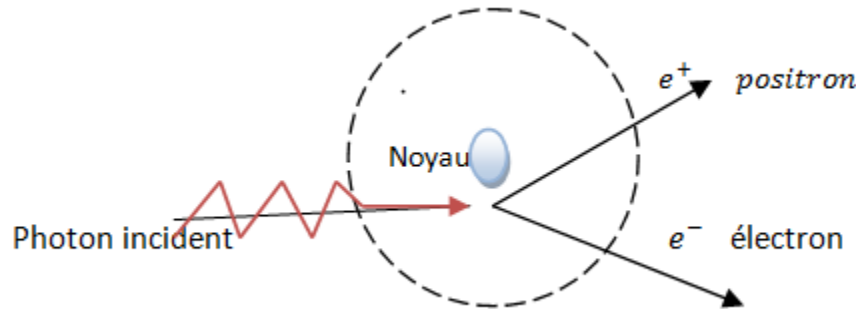
L'effet photoélectrique domine aux faibles énergies, la section efficace  $\sigma_{ph}$  décroît quant l'énergie  $h\nu$  est croît mais elle croît rapidement avec le numéro atomique  $Z$ .

$$\sigma_{ph} = Z^n / E_\gamma^{3.5}$$

Avec :  $n$  varie de 4 à 5.

### 2.2.3 Effet de production de paires

Un photon est totalement absorbé et donne lieu à la matérialisation d'une paire électron-positron par disparition du photon au voisinage de noyau (pénètre dans le champ coulombien du noyau) que  $h\nu$  est l'énergie du photon la conservation de l'énergie et de l'impulsion impose.  $h\nu = 2m_0c^2 + T_1 + T_2$



$T_{e-}$  et  $T_{e+}$  sont respectivement les énergies cinétiques de l'électron et du positron.

#### Probabilités comparées des trois processus :

Pour  $E_\gamma < 0,5\text{MeV}$ , l'effet photo-électrique qui domine. Mais section efficace diminue quand l'énergie augmente.

$$\sigma_{\text{effet photoélectrique}} \propto 1/E_\gamma^3.$$

- Pour  $0,5 < E_\gamma < 3\text{MeV}$  l'effet Compton domine.
- Pour  $E_\gamma > 1,02\text{MeV}$  effet Compton et effet de création de paires sont en concurrence.
- Pour  $E_\gamma > 3\text{MeV}$  : la création de paires devient dominante. Dominante.

La section efficace de la création de paires est proportionnelle à  $Z^2$  et augmente avec  $E_\gamma$ , contrairement à l'effet photoélectrique et l'effet Compton.

$$\sigma_{\text{création de paires}} \propto E^2 E_\gamma.$$

## 2.3 les interaction des neutrons

Le neutron est caractérisé par :

**Une charge nulle**

Il ne subit donc pas d'interaction coulombienne projectile idéal sur les noyaux susceptibles de fissionner.

**Sa masse** :  $m_n = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{Kg}$

sa masse est très proche de celle du proton (noyau d'hydrogène)

**Son énergie cinétique** :  $E = 1/2 m V^2$

On ne peut différencier deux neutrons que par leur énergie cinétique.

Les unités usuelles en neutroniques sont le cm et le joule ( $J$ ) ou l'électronvolt ( $1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} J$ ).

**La durée de vie de neutron** :

Le neutron libre est une particule instable :

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu} + 0,75\text{MeV}$$

$$T_{(1/2)} = 12\text{minutes}$$

**Energie cinétique du neutron** :

Seule différence entre deux neutrons : son énergie cinétique

Trois grands domaines d'énergie :

Le neutron issu de fission a une énergie moyenne de 2 MeV il se déplace alors à 20 000 km/s et une énergie maximale de 10 MeV

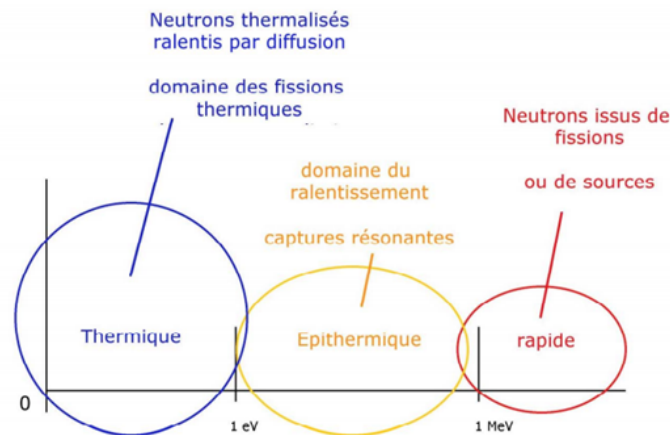
Dans les réactions de fission il peut atteindre 14 MeV. A force d'avoir des chocs diffusant, il perd de l'énergie

à 20 °C : 0,025 eV soit 2200 m/s

à 700 °C : 0,085 eV soit 4100 m/s

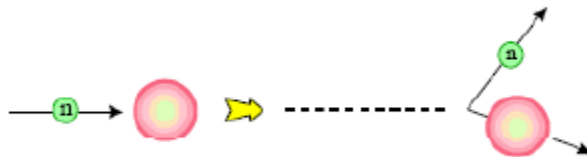
**Domaines d'énergie :**

On distingue trois domaines qui correspondent à des épisodes de la vie du neutron dans la matière



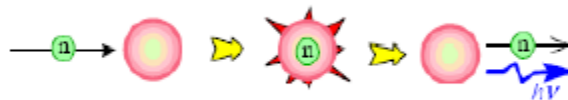
**Diffusion élastique (n,n) :**

- \* Neutron arrivant sur un noyau est diffusé.
- \* La nature de particule et l'énergie cinétique du neutron sont conservées.
- \* la Perte d'énergie dépend de la masse du noyau



**Diffusion inélastique (n,n') (n,n',γ)**

- \* Neutron incident est absorbé par le noyau.
- \* Formation d'un noyau composé puis émission d'un neutron.
- \* Retour au niveau fondamental en émettant un ou plusieurs photons.



# Chapitre 3

## Les détecteurs nucléaires

### Présentation

L'instrumentation nucléaire est utilisée et développée dans le domaine de la recherche en physique, biologie ou encore géologie.

Dans le tissu industriel, le secteur de l'énergie nucléaire est un important utilisateur de cette technologie tout au long du cycle, depuis la fabrication de combustible, la production dans les centrales, les procédés de retraitement et la gestion des déchets nucléaires ainsi que des matières recyclées.

On rencontre également une instrumentation nucléaire spécifique dans d'autres secteurs industriels pour du contrôle de procédés (radiographies de soudures, contrôle d'épaisseurs, contrôle d'humidité, par exemple), la caractérisation de matériaux (industrie du ciment), ou encore le domaine de la sécurité (détecteurs à rayons X et balises de détection de sources radioactives).

Enfin, la médecine nucléaire fait appel massivement à l'instrumentation nucléaire à des fins diagnostiques (scanner, radiographie, scintigraphie, TEP, etc.) ou thérapeutiques (radiothérapie, curiethérapie, ...).

### 3.1 Les types de détecteurs

#### 3.1.1 Détecteurs à gaz

Un détecteur à gaz est un type de détecteur de particules dont la spécificité est d'utiliser un milieu gazeux pour la détection de rayonnement par ionisations.

En instrumentation nucléaire, les détecteurs à gaz sont utilisés dans diverses applications, soit en compteurs proportionnels, soit en chambre d'ionisation ou encore pour la spectrométrie gamma.

**Quelques exemples :**

- Micro-mégas (détecteur).
- GET.

#### 3.1.2 Détecteurs à semi-conducteur :

Un détecteur à semi-conducteur est un détecteur de particules qui s'appuie sur la technologie des semi-conducteurs.

Une particule avec une énergie suffisante, rencontrant un semi-conducteur, va arracher un électron à un atome du cristal (par effet photoélectrique, effet Compton ou création de paires) en lui cédant une partie ou la totalité de son énergie sous forme d'énergie potentielle (ionisation) et cinétique. Le semi-conducteur a la particularité de se comporter comme un conducteur lorsqu'il y a interaction du rayonnement et comme un isolant lorsqu'il n'y a pas interaction. Le gap est l'énergie minimum qui doit être apportée au cristal pour qu'un électron de la bande valence (participant aux liaisons

entre les atomes) soit libéré dans la bande de conduction. Le semi-conducteur est particulièrement bien adapté à la mesure de rayonnements gamma car il permet de discriminer le courant provoqué par les particules du courant de bruit thermique.

L'électron éjecté lors de l'interaction va déclencher à son tour d'autres ionisations en cascade. Après thermalisation avec le cristal, on obtient au sein du semi-conducteur un nuage de porteurs libres. Le semi-conducteur étant polarisé par une haute tension, les porteurs libres vont être attirés vers les électrodes et engendrer ainsi un courant mesurable dans un circuit connecté au détecteur.

Il existe différents modes d'utilisation impliquant une électronique différente à la sortie du semi-conducteur :

- spectrométrie,
- comptage,
- intégration.

#### ⊗ Spectrométrie :

Le détecteur analyse chaque particule incidente séparément.

Les charges sont collectées aux électrodes et forment un signal électrique transitoire appelé impulsion. Si la collecte est complète, l'intégrale du courant mesuré est proportionnelle à l'énergie déposée par particule incidente. On utilise un circuit électronique pour mesurer cette intégrale ; en général il s'agit soit d'un condensateur, soit d'un préamplificateur de charge.

#### ⊗ Comptage :

Le détecteur compte les particules.

L'électronique effectue un simple comptage du nombre d'impulsions mesurées par le détecteur. L'impulsion électrique consécutive à une interaction déclenche un circuit électronique (nommé discriminateur) qui se contente d'en signaler l'existence, sans extraire l'information d'énergie. La quantité de déclenchements mesurés peut alors servir à mesurer l'activité d'une source ou la fluence du rayonnement.

#### ⊗ Intégration :

Le détecteur mesure une intensité de rayonnement en continu. Cela ne permet pas de faire de la spectrométrie.

Les courants induits par les charges collectées sont ici intégrés en continu. La mesure est trop lente pour séparer les contributions individuelles mais on observe un signal à l'image du courant moyen dans le détecteur sur une certaine constante de temps. Ce courant fluctue selon l'intensité du rayonnement, quel qu'il soit.

On peut ainsi localiser des sources d'émission de radioactivité en dotant le détecteur d'un collimateur lui permettant de recevoir les particules selon un angle solide restreint. Le détecteur devient ainsi sensible à la direction. Selon la sensibilité du semi-conducteur, la radioactivité ambiante peut également très vite se superposer au signal utile et noyer les pics intéressants dans un fond continu.

### 3.1.3 Détecteurs à scintillation

Les scintillateurs sont des milieux dans lesquels une fraction non négligeable de l'énergie absorbée lors d'une interaction est transformée, par luminescence, en photons. Après conversion en un signal électrique et traitement par une électronique appropriée, l'énergie déposée par le rayonnement incident est déduite. En fonction des matériaux scintillants, il faut 20 eV au minimum d'énergie déposée pour créer un photon visible. Le rendement lumineux (photons/MeV) des scintillateurs est donc faible. La conversion photons/électrons doit être effectuée à l'aide d'un photo-détecteur sensible tel qu'un photomultiplicateur. Les scintillateurs sont utilisés dans le domaine de l'imagerie gamma pour le médical, l'astrophysique et le nucléaire. Ils existent en matériau inorganique (solide) ou organique (solide ou liquide).

Les scintillateurs inorganiques sont constitués de cristaux dopés par une impureté. Ils se déclinent en trois familles : les halogénures d'alcalins, les fluorures et les oxydes. Parmi eux, l'iodure de césium dopé au thallium CsI(Tl) est le détecteur qui a le plus haut rendement lumineux et, l'io-

de sodium dopé au thallium ( $\text{NaI(Tl)}$ ) est le plus largement employé.

Les détecteurs organiques se déclinent en plusieurs familles : des plastiques, des cristaux d'anthracène, de stilbène et des solutions cristallines d'anthracène dans le naphthalène. Ces détecteurs émettent de la lumière lorsqu'ils reçoivent des radiations ionisantes. Ces scintillateurs sont généralement peu chers et peuvent avoir des temps de réponse très rapides. Ils sont donc largement employés en physique des hautes énergies où ils permettent d'obtenir des surfaces de détection de dizaines de mètres carrés avec une résolution temporelle de 1 ns.

## 3.2 Le fonctionnement des principaux détecteurs :

### 3.2.1 Détecteurs à gaz :

#### i- [Chambre d'ionisation](#) :

Une chambre d'ionisation est un détecteur de particules qui repère le passage d'une particule en mesurant la charge totale des électrons des ions produits lors de l'ionisation du milieu gazeux par la particule.

Pour récupérer les électrons et les ions avant qu'ils ne se recombinent en atomes, la présence d'un champ électrique est requise pour les séparer et les faire dériver vers des électrodes. Les charges (électrons et ions) en dérivant induisent des courants sur les électrodes. Ces courants sont détectés par un amplificateur qui produit un signal électrique.

Les charges détectées par l'amplificateur dépendent de la haute tension du champ électrique. Une fois que la tension est assez grande pour empêcher les recombinaisons, les charges d'ionisation dérivent presque intégralement vers les électrodes. On obtient un signal qui reflète la charge totale d'ionisation. Les détecteurs opérant dans cette région, par exemple les chambres à air liquide ont une excellente résolution en énergie et une très bonne linéarité. Mais les signaux sont assez faibles puisqu'il n'y a pas d'amplification des charges dans le détecteur.



#### ii- [Geiger Müller](#)

Le compteur Geiger-Müller (ou compteur G-M), sert à mesurer un grand nombre de rayonnements ionisants (particules alpha, bêta ou gamma et rayons X, mais pas les neutrons). Il est constitué d'un tube Geiger-Müller, d'un système d'amplification et d'un système d'enregistrement du signal. Le tube Geiger-Müller, une chambre métallique cylindrique dans l'axe de laquelle est tendu un mince fil métallique, est rempli d'un gaz sous faible pression. Une tension de l'ordre de 10 000 volts est établie entre le cylindre (qui fait office de cathode) et le fil (anode).

### 3.2.2 Détecteurs à semi-conducteur

#### i- Germanium :

Le germanium est un élément chimique de la famille des cristallogènes, de symbole Ge et de numéro atomique 32.

Ce métalloïde est semi-conducteur et à la structure du diamant, comme le silicium. Il possède cinq isotopes naturels, dont le  $^{76}\text{Ge}$ , qui est faiblement radioactif. Au moins 27 radio-isotopes ont été synthétisés.

Des transistors au germanium sont encore employés de nos jours comme composants principaux de certaines pédales d'effet pour guitare électrique, Aujourd'hui, il est plus utilisé dans le domaine des hautes fréquences, pour la réalisation de diodes à faible chute (0,3 V environ, application en détection) du poste à diode et dans les cellules photovoltaïques multi-jonction pour utilisations spatiale et terrestre après concentration. Les transistors SiGe sont des transistors bipolaire à hétérojonction qui sont couramment utilisés dans le domaine des hyperfréquences en amplification faibles signaux (facteur de bruit faible).

Sa deuxième utilisation se trouve dans les verres. La structure du germanium ne peut être détruite par le rayonnement neutronique, comme pour l'acier. Par contre, l'irradiation aux neutrons rapides introduit des défauts ponctuels qui recuissent vers 200 °C.

Les applications principales étaient la fabrication de fibres optiques (35 %), l'optique dans le domaine de l'infrarouge (20 %), les catalyseurs (20 %), l'électronique (15 %) et certains types de cellules photovoltaïques.

### 3.2.3 Détecteurs à scintillation :

#### i- Iodure de Sodium

L'iodure de sodium est le plus ancien et le plus répandu des scintillateurs pour la spectrométrie gamma. Il offre un excellent rendement lumineux : environ 12 % de l'énergie déposée par un rayonnement est convertie en énergie lumineuse. Cependant, étant hygroscopique, il doit en permanence être maintenu à l'abri de l'humidité. Le NaI(Tl) est surtout recherché pour sa grande sensibilité (grâce à un numéro atomique Z et à un volume élevés), on peut l'utiliser en spectrométrie ? dans une grande variété d'applications.

L'iodure de sodium possède un inconvénient qui est que son rendement de scintillation (nombre de photons de scintillation produits par unité d'énergie déposée) dépend de la température. Une correction de gain s'avère de fait souvent nécessaire lorsque des variations de températures importantes existent lors de son utilisation.

#### ii- Détecteurs solides de traces nucléaires :

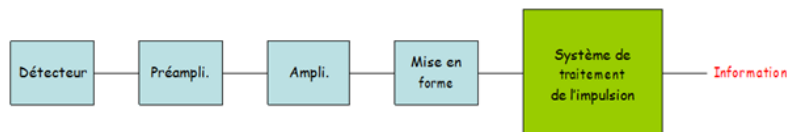
Les particules chargées peuvent être détectées par l'observation de traces nucléaires, zone de dommages créée le long des trajectoires de ces particules dans le matériau détecteur. Toutefois, l'enregistrement du passage d'une particule chargée dans un solide n'est pas réalisé d'une façon systématique pour toute particule et pour tous les matériaux. Les Détecteurs Solides de Traces Nucléaires (DSTN) mémorisent le passage de particules chargées, lors que leurs propriétés sont en corrélation avec les seuils de détection. Historiquement, Price et Walker en 1962 [Pri62-Fle63-64-65] ont mis au point la technique d'observation en microscopie optique de traces individu. On distingue deux grandes différences entre les traces latentes présentes dans deux classes majeures de solides qui sont, soit des minéraux (verre, mica, apatite, quartz, feldspath, ...) soit des matériaux organiques polymères tels que les dérivés cellulotiques (nitrate de cellulose, di-acétate et tri-acétate de cellulose) et les polycarbonates. Tous les résultats (nombre de traces, diamètres, bruit de fond, ...) d'un DSTN dépendent des conditions de traitement chimique ou électrochimique et du système décomptage. Dans le présent travail, nous avons utilisé deux types de DSTN : LR115 et CR-39.

## La comparaison entre les détecteurs

|                          | Chambre d'ionisation                                                     | Gelger-Muller                                                                                                                                                                                        | Semi-conducteur                                                       | Scintillations                                 |                                                                                       |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Type rayonnement détecté | I Na (Ti) X $\geq$ 5KEV( $^{125}$ I)<br>$\gamma \geq 30$ KEV             | $\beta(^{14}\text{C } ^{32}\text{S } ^{32}\text{P})$ X et $\gamma$                                                                                                                                   | X et $\gamma$                                                         | $\alpha$<br>SZn(Tl)                            | $\beta$ X et $\gamma$<br>I Na(Tl)                                                     |
| Gamme de débit           | 1 $\mu$ à 0,1 Sv Sv/h                                                    | 0,1 mSv à 10 mSv/h                                                                                                                                                                                   | 1 mSv à 0,1 Sv/h                                                      |                                                |                                                                                       |
| Gamme d'énergie          | 30 Kev à 2 Mev $\pm 15\%$                                                | 50 keV à 1,3 Mev $\pm 30\%$                                                                                                                                                                          | 70 Kev à 1Mev $\pm 20$ à 30%                                          |                                                |                                                                                       |
| Gamme de dose            | 50 mSv à 10 Sv                                                           | 1 mSv à 10 Sv                                                                                                                                                                                        | 1mSv à 1 Sv                                                           |                                                |                                                                                       |
| Rendement                | X et $\gamma \approx 5$ à 10%<br>$\alpha, \beta$ peut atteindre 100%     | $\alpha, \beta \approx 100\%$<br>X et $\gamma \approx 1\%$                                                                                                                                           |                                                                       |                                                |                                                                                       |
| Applications             | Appareil d'alerte<br>contrôle des personnes<br>Mesure de débit de dose   | $\beta$ : Appareil d'alerte à seuil<br>Contrôle des personnes<br>et des surfaces<br>X, $\gamma$ : Un par type de<br>rayonnement donné                                                                |                                                                       | Appareil d'alerte<br>Contrôle des<br>personnes | Appareil d'alerte<br>Contrôle des<br>personnes                                        |
| Avantages                |                                                                          | Mesure de débit<br>dose robuste<br>alarme sonore                                                                                                                                                     | Mesure de débit<br>dose robuste<br>petite taille possible             |                                                | Bon rendement<br>lumineux                                                             |
| Inconvénients            | Sensibilité aux chocs<br>et aux variations de<br>condition atmosphérique | Ne détecte pas les photons<br>de basse énergie et les<br>$\beta < \text{qques } 10 \text{ Kev } \beta$<br>sensibilité variable, durée<br>de vie limitée selon le type<br>et l'énergie du rayonnement | Sensibilité variable<br>surtout aux énergies<br>du radiogonic medical |                                                | Fortement<br>hygroscopique<br>sensible à la<br>lumière et<br>variation<br>température |

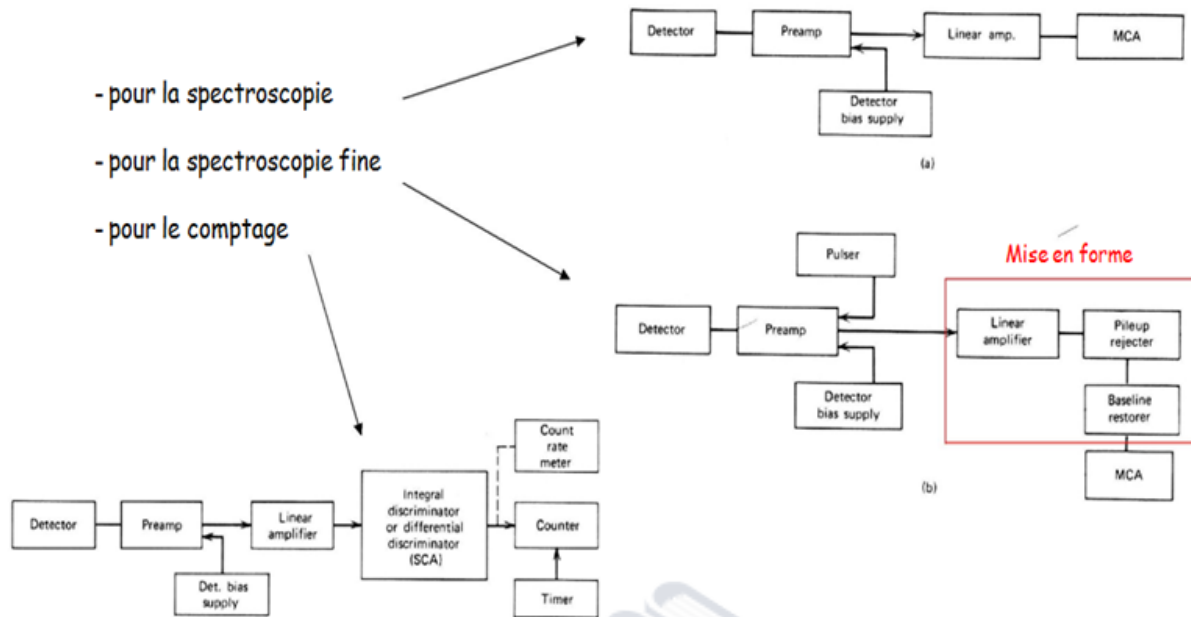
### 3.3 La description de la chaîne électronique associée à chaque détecteur

La configuration de la chaîne dépend des objectifs de la mesure (comptage, spectroscopie, déclencheur...)



- Le signal fourni par le détecteur est généralement une quantité de charge  $Q$ .
- Le détecteur est alimenté soit directement soit à travers le préamplificateur.
- Le préamplificateur est nécessaire si  $Q$  est trop faible.
- La mise en forme est nécessaire pour la spectroscopie fine (ex. détecteurs Ge).
- Les éléments de la chaîne doivent être linéaires.
- La définition et le réglage des éléments de la chaîne doivent être adaptés à l'objectif de la mesure.
- Les signaux de la chaîne peuvent être utilisés pour d'autres analyses en parallèle (ex. datation, PSD).
- Le système de traitement de l'impulsion fournit un signal numérique.

Exemples de chaînes :



exosup.com

# Conclusion

La détection des rayonnements nucléaires est toujours un problème délicat qui nécessite de bien connaître le fonctionnement du détecteur utilisé et les possibilités de l'électronique associée pour choisir la meilleure solution. A l'heure actuelle, la spectroscopie de ces rayonnements est réalisée pratiquement universellement avec des détecteurs semi-conducteurs. Mais de très nombreuses mesures peuvent être réalisées dans l'excellentes conditions en utilisant des détecteurs moins sophistiqués mais parfaitement adaptés à des cas particuliers.

# Bibliographie

- [1] [http://www.nucleide.org/Gamma\\_spectro/interactions.htm](http://www.nucleide.org/Gamma_spectro/interactions.htm),
- [2] <http://www.cesr.fr/~jean/SpectroAlpha3.pdf>,
- [3] <http://www.fsr.um5a.ac.ma/cours/physique/SABIR/Cours%20Phy%20Nu%20Chap%20IV.pdf>,
- [4] <http://www.laradioactivite.com/fr/site/pages/lephenomenedionisation.htm>,
- [5] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Diffusion\\_Compton](http://fr.wikipedia.org/wiki/Diffusion_Compton),
- [6] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Effet\\_photo%20%C3%A9lectrique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_photo%20%C3%A9lectrique),
- [7] [http://www.eea.univ-montp2.fr/IMG/pdf/M2\\_seminar\\_opto\\_et\\_radiations\\_-\\_Copie.pdf](http://www.eea.univ-montp2.fr/IMG/pdf/M2_seminar_opto_et_radiations_-_Copie.pdf),
- [8] [http://www.memoireonline.com/07/12/6070/m\\_Syteme-de-double-calcul-dosimetrique6.html](http://www.memoireonline.com/07/12/6070/m_Syteme-de-double-calcul-dosimetrique6.html),
- [9] [http://www.jamiati.ma/Cours\\_En\\_Ligne/Documents/bpi.pdf](http://www.jamiati.ma/Cours_En_Ligne/Documents/bpi.pdf),
- [10] [www.telotoile.u-bordeaux2.fr/rayonsIonis/detectiononline](http://www.telotoile.u-bordeaux2.fr/rayonsIonis/detectiononline),
- [11] [spectro-gamma-fine-IUP](#),
- [12] [dpnc.unige.ch/tp/ge](http://dpnc.unige.ch/tp/ge),
- [13] <http://www.dechets-radioactifs.com/la-radioactivite/explication-phenomene/differents-rayonnements.html>,
- [14] <http://guy.chaumeton.pagesperso-orange.fr/ts04ph.htm#c>,